Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. P. Riethe
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an der Nahtstelle zwischen Pulpa und Dentin

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von

Guido Huth
aus Krumbach

1984

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. P. Riethe
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an der Nahtstelle zwischen Pulpa und Dentin

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von

Guido Huth
aus Krumbach

1984

Dekan: Professor Dr. D. Plester
1. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. P. Riethe
2. Berichterstatter: Professor Dr. U. Drews

Offsetdruck Spengler
Lessingstraße 4 · 7401 Neustetten 1
Telefon (0 74 72) 2 21 45

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	S. 1
Material und Methode	S. 2
Ergebnisse	S. 7
Diskussion	S. 12
Zusammenfassung	S. 23
Bildmaterial	S. 24
Literaturverzeichnis	S. 68
Anhang	S. 74

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an der Nahtstelle zwischen Pulpa und Dentin

Einleitung

Zum ersten Mal beschrieb Kölliker (1852) das Vorhandensein einer Membran an der pulpodentinalen Grenze. Es gelang ihm diese zu isolieren, wobei er feststellte, daß sie mit der sogenannten Neumann'schen Scheide zusammenhing. Dies und die Erkenntnisse von Paul (1898-9), daß die Odontoblasten über eine Halskrause miteinander in Verbindung stehen, wurde von Bradford (1950) bestätigt. Auch spätere Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskopie von Cotton (1975), Svejda (1975) und Kockapan (1981) zeigten die Berechtigung des Postulats nach Vorhandensein einer kompakteren, membranartigen Struktur am Übergang des Odontoblastenkörpers in den Odontoblastenfortsatz.
Jüngste Berichte von Köling (1981), Sasaki (1982) und Byers (1982) befassen sich mit den Interzellularkontakten zwischen den Odontoblasten und versuchen so die Natur der pulpodentinalen Membran zu ergründen.
Gerade im Hinblick auf den hydrodynamischen Transmissionsmechanismus, den Dentinliquorfluß und die Problematik der Dentinsensibilität ist die Klärung dieses Komplexes von großer Wichtigkeit.
Ähnliches Interesse wird der Struktur der Odontoblasten, ihren Fortsätzen und deren Beziehung zu den umgebenden Strukturen entgegengebracht, welche zu diesem Komplex gehören.
So besteht in der Literatur keine Einigkeit darüber, ob der Odontoblastenfortsatz hohl (Helmcke 1952, Frank 1959, Brännström 1972) oder von fester, fibrillärer

./.

(Tore 1967, Svejda 1979) Konsistenz ist, die Oberfläche der Odontoblasten rauh (Isokawa 1970), gefaltet (Gotjamanos 1974) oder glatt (Svejda 1975, Kockapan 1981) ist, ein (Isokawa 1970, Kockapan 1981) oder mehrere (Svejda 1975) Fortsätze vom Odontoblastenkörper abgehen und ob der Odontoblastenfortsatz der einzige Inhalt der Kanälchen im Prädentin und Dentin ist.

Ziel dieser Arbeit war es zu versuchen, die Strukturen der pulpodentinalen Grenze weiter zu klären, oder zumindest eine Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse vorangegangener Arbeiten zu finden.

Material und Methode

Zur Untersuchung fanden zwanzig kariesfreie, nicht gefüllte ein- bzw. mehrwurzlige menschliche Zähne Verwendung.
Unmittelbar nach erfolgter Extraktion wurden die Zähne in die Fixierlösung (2%iger Glutaraldehyd in 0,1M Cacodylatpuffer mit einem pH von 7,4 und bei 4°C) gegeben. Um eine ausreichende Diffusion der Fixierlösung zu gewährleisten wurden die Präparate erst nach 4-7 Tagen in einer Schraubzwinge gebrochen. Zur Erzielung eines Bruches in Zahnlängsrichtung wurden vorher teilweise entsprechende Rinnen bis ins Dentin, unter Kühlung mit Pufferlösung, gefräst. Sodann wurde nochmals zwischen 2 und 12 Stunden in Glutaraldehyd fixiert. Zur Nachfixierung diente Osmiumtetraoxid 2%ig. Vor und nach der Os_3 O_4 -Fixierung wurden die Proben mit Pufferlösung gespült, um das vorangegangene Medium zu entfernen. Die Präparate wurden anschließend in aufsteigender Al-

koholreihe dehydriert, der Alkohol schrittweise durch Amylacetat substituiert und die Trocknung über den kritischen Punkt in CO_2 durchgeführt. Sodann erfolgte das Befestigen der Zahnbruchstücke auf Aluminiumtellern mittels Leitsilber und die Besputterung in einer "Balzers Sputteranlage" mit einer 200Å starken Gold-Palladium-Schicht. Hernach standen die Präparate zur Untersuchung im "Cambridge Stereoscan Mark IIA" bzw. "Cambridge Stereoscan S250" zur Verfügung.

Neben der Transmissionselektronenmikroskopie stellt die Rasterelektronenmikroskopie ein heutzutage alltägliches Mittel zur Untersuchung feiner und feinster Strukturen dar.
Jedesmal wird als Strahlungsquelle ein Kathodenstrahler verwendet. Die Wellenlänge der von ihm erzeugten Elektronen, u.a. verantwortlich für die Auflösung des Mikroskops, ist um vieles kleiner als die von Lichtquanten und ermöglicht es somit in den Bereich von einigen hundert Å vorzustoßen.
Mit der hier angewandten Rasterelektronenmikroskopie wird ein dreidimensionales Bild der untersuchten Oberflächen auf dem Sichtschirm erzeugt. Bei der Betrachtung der Bilder muß bedacht werden, daß neben der methodenbedingten mechanischen Schädigung der Objekte auch noch ein paar Eigenarten der Rasterelektronenmikroskopie mit in die Auswertung einbezogen werden müssen. So neigen bei der Bedampfung kleinere Öffnungen in den Oberflächen dazu, im Verhältnis zur Umgebung, überproportional durch die Metallschicht zuzuwachsen. Dies ist besonders deutlich, wenn mehrere Metallschichten aufgedampft werden, was jedoch in unserem Fall

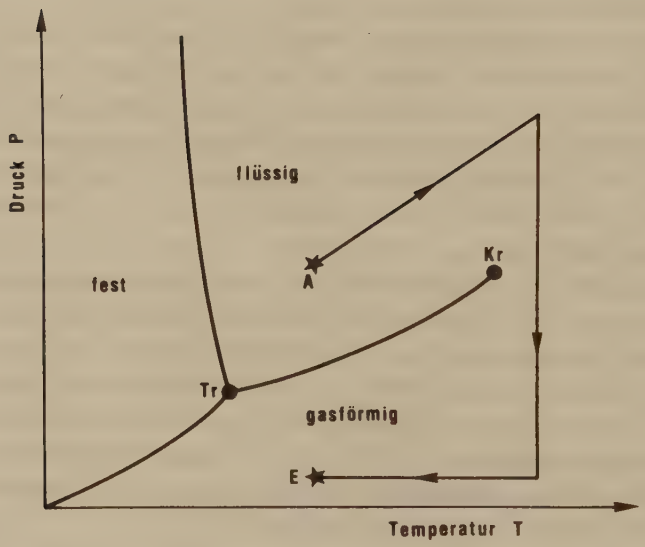
nicht geschah. Durch die starke Konzentration des Elektronenstrahles beginnen aus der Fläche ragende Teile (z.B. Odontoblasten) mit der Zeit ihre Lage zu verändern und können somit zerstört werden. Wird zur Erzielung einer höheren Auflösung die Beschleunigungsspannung zu stark gesteigert, durchschlagen die Elektronen die Metallschicht ohne Sekundärelektronen zu erzeugen und verschlechtern so die Bildqualität. Zusätzlich besteht die Gefahr, das Präparat dabei unbrauchbar zu machen. Außerdem ermöglicht die rechtwinklig zueinander ausgerichtete Anordnung von Elektronenstrahlquelle und Detektor die Betrachtung nicht aus jedem Blickwinkel.

Um eine Besputterung und Beobachtung biologischer Materialien im Rasterelektronenmikroskop zu ermöglichen, müssen die Präparate absolut trocken sein. Da beide Vorgänge im Vakuum ablaufen, würde noch in den Geweben enthaltene Flüssigkeit bei der erfolgenden Druckerniedrigung verdampfen und die Oberflächen zerstören.
Zur Trocknung gibt es drei Standard-Methoden: Lufttrocknung, Gefriertrocknung und Kritische-Punkt-Trocknung.
Wilton-Cox und Cleaton-Jones (1977) konnten keine Unterschiede in der Präparatqualität bei den verschiedenen Trocknungsweisen feststellen; auch die Erfahrung von Svejda (1979) zeigte keinen Unterschied beim Vergleich der einfachen Lufttrocknung mit der Kritischen-Punkt-Trocknung. Die Autoren Gotjamanos und Swedlow (1974) halten jedoch die Kritische-Punkt-Trocknung für optimal und beziehen sich auf Boyde und Wood (1969) sowie Hollenberg und Erickson (1973). Gotjamanos kam 1973 zu dem Schluß, daß die Kritische-Punkt-Trocknung die "in-vivo-Struktur" der Pulpazellen richtig wiedergibt.

Bei der Lufttrocknung sind bis zu 40% Volumenschrumpfung zu befürchten (Hollenberg und Erickson). Da es bei der Rasterelektronenmikroskopie jedoch, um ein weitgehend exaktes Bild der Wirklichkeit zu erhalten, darauf ankommt, möglichst keine Schrumpfung zuzulassen, schien uns diese Methode mit einem zu großen Unsicherheitsfaktor behaftet.
Die Gefriertrocknung zielt darauf ab, möglichst blitzartig im gesamten Präparat die Temperatur unter den Gefrierpunkt der im Gewebe befindlichen Flüssigkeit zu senken. Bei größeren Präparaten, wie den unsrigen, besteht die Gefahr, daß die Temperatur nicht überall schnell genug gesenkt werden kann und es so zu Schäden infolge Auskristallisation kommt.
So fiel unsere Entscheidung auf die 1951 von Anderson eingeführte Kritische-Punkt-Trocknung, welche die Risiken des Wasserentzuges auf ein Minimum senkt, bzw. völlig eliminiert. Das Wesen der Kritischen-Punkt-Trocknung ist es, die beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatszustand entstehenden Oberflächenspannungen zu vermeiden, indem jenseits des sogenannten kritischen Punktes gearbeitet wird.
Der kritische Punkt bezeichnet jene Stelle im Temperatur-Druck-Diagramm (s.S.6), jenseits welcher flüssige und gasförmige Phase gleichberechtigt nebeneinander existieren und es beim Übergang zwischen den beiden Aggregatszuständen nicht zur Ausbildung von Grenzflächen kommt.

Für Wasser liegt der kritische Punkt bei Pkr = 218,5at und Tkr = 374 °C, womit sich die direkte Trocknung mit dieser Methode verbietet. Deshalb wurde hier die gebräuchlichste Methode mit CO_2 (Pkr=73at und Tkr=31 °C) gewählt, die zufriedenstellende Ergebnisse lieferte.

Temperatur-Druck-Diagramm:



A ⟶ E : P-T-Verlauf bei der Kritischen-Punkt-Trocknung
(A : Ausgangs-, E : End-, Tr : Trippel-, Kr : kritischer Punkt)
nach Reimer, L. : Rasterelektronenmikroskopie

Ergebnisse

Die Prädentin-Oberfläche zeigte nicht in allen Präparaten und an jeder Stelle die gleiche Struktur. Zum einen erkannte man eine wild zerklüftete Faserlandschaft mit arkadenförmig aufgetürmten Kollagenfasern (Abb.1/2), zum anderen über weite Strecken eine nahezu ebene Oberfläche, welche regelmäßig Kanalöffnungen zeigte (Abb.3). Jedoch fehlten stellenweise ein paar Kanälchen (Abb.4) und immer wieder zeigten sich Löcher mit ausgefranstem, unregelmäßigem Rand (Abb.5/6). Die "kanälchenfreien" Gebiete hatten eine Größe vom ein- bis dreifachen eines Kanälchendurchmessers, die Vertiefungen betrugen bis zum achtfachen desselben. Der Durchmesser der Kanälchen bewegte sich zwischen 2 und 3µ, der Abstand von Lumen zu Lumen zwischen 1 und 2µ. Die Anordnung der Kanaleingänge erinnerte in seinem Aufbau an die Sechseckform einer Bienenwabe (Abb.3/5).

Die Oberfläche des Prädentins stellte sich als ein Geflecht von Fasern mit einem Durchmeser von ca. 0,04µ dar. Eine Querstreifung war nicht zu erkennen. Der Verlauf dieser Fasern erwies sich auch über kürzere Strekken als nicht geradlinig. Sie wichen den Kanalöffnungen in unterschiedlicher Weise aus (Abb.7/8/19). Teilweise zogen sie schlangenlinienartig von Eingang zu Eingang, teils umschlossen sie achterförmig mehrere Kanälchen oder liefen dreiviertel um diese herum, um sich dann im Gewirr der anderen Fasern zu verlieren. Häufig waren faserdicke, punktförmige Gebilde an ihnen zu erkennen, die als Anheftungspunkte für abgerissene andere und die sogenannten von Korff'schen Fasern dienten (Abb.9). Diese schienen gerade, mit einem Durchmesser von ca. 0,2µ, und zogen von der Prädentinoberflä-

che, wo sie sich auffaserten (Abb.: 10/15) und in das Geflecht der Prädentinfasern integriert wurden, durch die Odontoblastenschicht zur Pulpa (Abb.9). Immer wieder ließen sie andeutungsweise einen schraubenartigen Verlauf erkennen (Abb.10). Nur ab und zu waren typische, korkenzieherartige Korff'sche Fasern zu sehen (Abb.11). Die Windungshöhe betrug ca. 0,2-0,3µ und der Durchmesser in etwa 0,3µ. Die ihnen eigene 640 Å-Bänderung war nicht auszumachen.
Im Längsschnitt zeigte sich, daß die Faserung des Prädentins dort auch hauptsächlich zirkulär verläuft. Die Fasern wiesen einen leicht in Kanalrichtung absteigenden Verlauf auf und bildeten untereinander ein enges Netz aus Querverbindungen (Abb.14/16). Die Dicke dieser Prädentin-Faserschicht betrug zwischen 8 und 40µ (Abb.16) und ging in der Tiefe mit scharfer Grenze in das Dentin über (Abb.17/18). Die Mineralisationsfront wies jedoch keinen zur Prädentinoberfläche parallelen Verlauf auf, sondern zeigte eine Wellung (Abb.16).

In den Kanalöffnungen des Prädentins konnten Odontoblastenfortsätze nachgewiesen werden (Abb.3/7/19 und 20). Dies war jedoch nicht in allen Präparaten möglich. Zwischen den Fortsätzen und der Kanalwand zeigte sich überall ein Spaltraum von jedoch äußerst unterschiedlicher Größe, der teilweise fast verschwand (Abb. 7/19 und 20). In diesem Raum waren feine Fasern nachzuweisen, welche den Odontoblastenfortsatz mit der Wand des Kanales verbanden. Sie strahlten in die ansonsten glatte Oberfläche des Fortsatzes ein und gaben ihr an den Abrißstellen ein leicht gekörntes Äußeres (Abb.21). Im Querschnitt zeigten sich die Odontoblastenfortsätze als Körper von granuliertem, fibrillärem Charakter (Abb.19/20). War im Bereich des Prädentins der Raum

zwischen Fortsatz und Kanalwandung relativ groß, so erkannte man im unmittelbar anschließenden jungen Dentin eine deutliche Verkleinerung desselben (Abb.22 u. 23). Der glatte Odontoblastenfortsatz änderte beim Überschreiten der Mineralisationsfront fast ausnahmslos seine Oberflächenbeschaffenheit (Abb.20 und 24). Er faserte sich in dicht beieinanderliegende und miteinander über Seitenausläufer verbundene Fibrillen auf, deren Durchmesser ca. 0,03µ betrug. Sie waren in Längsrichtung des Dentinkanals ausgerichtet und standen über seitliche Fasern mit der Wand desselben in Kontakt. Nahezu das ganze Lumen wurde von ihnen ausgefüllt (Abb.23).
Teilweise konnten die Odontoblastenfortsätze über weite Strecken im Dentin verfolgt werden. Hier zeigte sich die Kanalwand in zwei verschiedenen Strukturen. Zum einen war sie glatt und hatte ein membranartiges Aussehen. In diesem Bereich wies die Wand auch länglich-ovale bis rundliche Vertiefungen auf, welche sich anscheinend weiter in das Dentin hinein fortsetzten (Abb.25). Zum anderen erinnerte sie an die Oberfläche der Kanalwand im Prädentin, nur daß hier im Dentin die Struktur stark vergröbert war (Abb.26). Eine parallel zu dem Odontoblastenfortsatz in den Kanälchen verlaufende Faser konnte nicht entdeckt werden; es schien, als ob der Fortsatz mit seiner Faseranheftung der einzige Inhalt des Kanals sei.

Die Odontoblastenkörper waren in den untersuchten Präparaten von unterschiedlicher Gestalt und Form. Diese reichte von eiförmig über elliptisch bis säulenförmig (Abb.27/28). Die Oberfläche glich derjenigen der Fortsätze, war glatt mit grieseliger Struktur und zeigte Anheftungsstellen von Fasern. Einhellig hatten diese

Zellen jedoch nur einen einzigen Fortsatz, in welchen sie trichterförmig übergingen. An dieser Stelle hatten sie eine Art Halskrause, über welche sie untereinander sehr fest verbunden schienen (Abb.31/32). Der Querschnitt der Odontoblasten im Bereich dieser Verbindungsstelle war bienenwabenförmig (Abb.33-36). Die Zellen bildeten eine geschlossene, einreihige Lage auf der Prädentinoberfläche und grenzten diese gegen die Pulpa ab. Immer wieder gingen zwischen den Odontoblasten dickere Fasern von 0,4µ Durchmesser in Richtung Prädentin ab, welche aus der sub-odontoblastischen Schicht zu kommen schienen (Abb.37). In Präparaten, in denen das Pulpagewebe etwas gezerrt worden war, zeigte sich deutlich, daß diese sogenannten von Korff'schen Fasern zwischen den Odontoblasten hindurchliefen (Abb.38). Bei Proben, welche einer größeren Schrumpfung unterlegen waren und so die Zellen auseinandergetrieben waren, zeigte sich eine Querverbindung zwischen den benachbarten Odontoblasten (Abb.39). Diese war am ausgeprägtesten und stärksten am distalen Pol des Zellkörpers. Die Abbildung 36 gibt die Ansicht der Odontoblasten aus der Richtung des Prädentins wieder. Deutlich ist der im Vergleich zum Durchmesser des Zellkörpers etwa halb so große Odontoblastenfortsatz mit seiner faserig-granulierten Struktur zu sehen. Gleichfalls erkennt man den festen Kontakt der Zellen untereinander und die bienenwabige Form sowohl der Odontoblasten in diesem Bereich als auch des Schlußleistennetzes. Dies war an Stellen, an welchen der Odontoblastenfortsatz unmittelbar am Zellkörper abgerissen wurde, um so besser zu sehen (Abb.33). Dort zeigte sich auch, was in der Längsansicht des Odontoblasten schon als Schlußleistennetz zu erkennen war. Teilweise waren auch zwischen den Dentinbildnern sogenannte von Korff'sche Fasern zu finden (Abb.36).

Einige Präparate zeigten eine weitere interessante Struktur (Abb.40ff): Bei schwacher Vergrößerung wies die Wand der Pulpenhöhle eine relativ ebene Schicht auf, welche teilweise mehr oder weniger deutlich von Löchern durchsetzt war. Diese ähnelten in Anordnung und Größe den Kanälchen im Prädentin. Stellenweise waren auch größere Löcher zu erkennen, die sich an ihrem Grund aufgabelten. Das Lumen der Öffnungen war teilweise unterschiedlich stark von einer membranartigen Schicht ausgefüllt, die vom Rand der Löcher abgerissen schien und in der Oberflächenbeschaffenheit der gesamten Schicht entsprach. Der Durchmesser der Öffnungen variierte in einem viel stärkeren Maß als von der Prädentinoberfläche her bekannt war. Stellenweise fehlte auch die Kontinuitätsunterbrechung dieser Schicht. In der gleichen Ebene, in welcher sie wie ein Netz gelöchert war, gab es auch Bereiche, an denen der Eindruck entstand, als sei eine geschlossene Schicht eingerissen (Abb.40). Bei stärkerer Vergrößerung der Oberfläche fiel das Fehlen der für das Prädentin typischen Kollagenfaserung auf (Abb.42). Diese Schicht hatte membranartigen Charakter mit feiner Granulierung. Auf ihrer Oberfläche schien ein zartes, lockeres, einschichtiges Fasernetz zu liegen mit einem Einzelfaserdurchmesser von ca. 0,03µ. Bei näherer Betrachtung der lochfreien Stellen zeigte sich dennoch eine Unterbrechung der Kontinuität dieser Schicht. Sie wirkte dort mehr oder weniger deckelartig eingerissen und aufgelockert bzw. ausgedünnt (Abb.41/42). Aus anderen Aufnahmen (Abb.43/44) ließ sich schließen, daß diese Schicht pulpawärts der Odontoblasten liegt.

Diskussion

In der Literatur herrscht Einigkeit darüber, daß das Prädentin aus einem Geflecht unverkalkter, kollagener Fasern mit einem Einzeldurchmesser von 0,04u - 0,05u besteht. Dies konnten wir ebenfalls feststellen.

Jedoch schon über den Verlauf dieser Fibrillen liegen unterschiedliche Ansichten vor. Johansen und Parks (1962) entdeckten in Kanälchennähe keine zirkulär verlaufenden Fasern und beschrieben deren Verlauf als meist parallel zum Odontoblastenfortsatz. Auch Furseth (1971) fand Kollagenfasern mit fortsatzparallelem Verlauf. Lester und Boyde (1967), die sich ausführlich und ausschließlich mit der Prädentinoberfläche befassen, sprechen von kreisförmigem Verlauf der Fasern um die Kanälchen. Svejda (1975) weist auf die filzartige Verflechtung der Fasern hin, welche die Kanälchen zirkulär umkreisen, zwei benachbarte achterförmig umgeben, zu anderen ziehen und so ein Netz bilden. Isokawa (1970) bezeichnet dies als korbartige Struktur.
Damit stimmen unsere Ergebnisse mit den Beschreibungen von Lester und Boyde, Isokawa sowie Svejda überein. Andere Autoren (Isokawa 1970, Gotjamanos 1974, Kockapan 1981) schildern den Verlauf nicht ausdrücklich. Aus ihrem Photomaterial ist jedoch ersichtlich, daß keine Diskrepanz zu unseren Beobachtungen besteht.

Die von uns gefundene regelmäßige Verteilung der Kanaleingänge zeigen auch Svejda (1975) und Kockapan (1981) auf. Lester und Boyde (1967) hingegen sprechen von geringer Regelmäßigkeit in der Verteilung der Öffnungen und größerer Variationsbreite in deren Zahl und Größe.

Wahrscheinlich ist dies methodenbedingt, da diese Autoren die Vakuumtrocknung verwenden und auch von ihren Schwierigkeiten bei der Entfernung der Pulpa vom Prädentin berichten.

Alle drei Autoren beobachteten das Vorhandensein von kanälchenfreien Zonen sowie größeren Vertiefungen, von deren Grund mehrere Kanälchen ausgehen. Auch Kothe (1973) entdeckte größere Mulden in der Wurzelkanalwand menschlicher Zähne, allerdings nach mechanischer Aufbereitung.
Die Darstellung der Vertiefungen in unseren Präparaten, sowie der Vergleich vor allem mit Kothe, legt die Vermutung sehr nahe, daß diese Löcher durch mechanische Schädigungen der Prädentinoberfläche entstanden sind. Unterstützt wird dies dadurch, daß wir nur sehr selten solche Unregelmäßigkeiten vorfanden und der Rand dieser Mulden deutliche Faserabrißstellen zeigte. Die Tatsache, daß in deren Tiefe wieder die reguläre Kanälchenzeichnung zu sehen war, widerspricht dem nicht. Unterstützend läßt sich noch heranziehen, daß die Odontoblasten immer in geschlossener Lage und mit ihren distalen Enden in gleicher Höhe gefunden wurden. Auch waren in diesen Vertiefungen nie Zellen zu finden.
Größere kanälchenfreie Zonen wie sie Kockapan (1981), neben der "im allgemeinen gleichmäßigen Verteilung der Kanälcheneingänge", beschreibt, zeigten sich bei uns nicht. Auch ließ die regelmäßige Verteilung der Kanälchen im Dentin sowie die durchweg geschlossene Odontoblastenschicht das Fehlen von Kanälchen im Prädentin und damit korreliert das Fehlen von Odontoblasten als unwahrscheinlich erscheinen. Eine Interpretation der

Literatur läßt sich aus unserer Sicht nicht finden, zumal sich bei uns diese kanälchenfreien Zonen nur als leichte Unregelmäßigkeit in der ansonsten regulären Verteilung der Öffnungen darstellten.

Die teilweise vorhandene arkadenartig zerklüftete Prädentinoberfläche ist auf das Ausreißen von Kollagenfasern aus dem Prädentin beim Ablösen der Pulpa zurückzuführen und stellt somit nicht die natürliche Struktur dar; wir schlossen dies aus der sich gezerrt und nicht so homogen darstellenden Faserung dieser Bereiche sowie aus Abrißstellen. Sie ist vielmehr ein ebenes Fasergeflecht mit nahezu gleichmäßig verteilten Öffnungen, das sich nach Isokawa (1970) und Kothe (1973) von wabenförmiger Oberflächenstruktur zeigt.

Dickere Fasern von ca. 0,3µ , welche ins Prädentin einstrahlen, wie sie Isokawa (1970) und Furseth (1971) beschrieben, waren zu sehen. Sie stellten sich so dar wie bei Isokawa (1970) bzw. Kockapan (1981), welcher sie eindeutig als von Korff'sche Fasern bezeichnete. Wir sprachen sie, gleichlautend mit Isokawa (1970), als sogenannte von Korff'sche Fasern an, da ihre Natur nicht eindeutig zu klären war. Dennoch dürfte es sich hierbei um die von Korff erstmalig beschriebenen und nach ihm benannten Fasern handeln.
Wir leiten das aus Folgendem ab: Von Korff'sche Fasern kommen nicht nur bei der Bildung von Manteldentin, sondern auch von zirkumpulpalem Dentin vor (Nylen and Scott u.a. in Isokawa 1970). Unsere Fasern hatten ähnlich den von Korff'schen einen Durchmesser von 0,3µ - 0,5µ, kamen aus dem Pulpagewebe, durchdrangen die Odontoblastenschicht und faserten sich am Prädentin, in

welches sie übergingen, auf. Dort, wo sie sich zeigten, war die Pulpa mit der Zellschicht vom Prädentin abgelöst und hatte sich etwas zurückgezogen. So war der korkenzieherartige Verlauf durch Dehnung verloren gegangen, was sich daran zeigte, daß dieser immer wieder andeutungsweise zu sehen war. Nur ab und zu waren eindeutig korkenzieherartige Strukturen zu erkennen, welche allgemein unumstritten als von Korff'sche Fasern gelten.

Unsere Erkenntnisse über die im Querschnitt granulierte, fibrilläre Struktur der Odontoblastenfortsätze stehen im Einklang mit Tore (1967), Shroff (1954) und Svejda (1979). Andeutungen für eine Röhrenform der Fortsätze wie bei Helmcke (1952), Shroff (1954) und Frank (1959) konnten nicht nachgewiesen werden. Shroff führte seine unterschiedlichen Ergebnisse über den Aufbau des Odontoblastenfortsatzes auf die jeweils angewandte Fixiermethode zurück. Thomas (1983) berichtete, daß die innere Struktur der Tomes'Faser bei Verwendung von Glutaraldehyd, den auch wir verwendeten, gut erhalten war, wenn auch nicht so gut, wie mit Karnovsky-Fixativ. Somit dürfte mit der von uns gewählten Methode die Struktur richtig wiedergegeben sein.

Die Tatsache, daß die Odontoblastenfortsätze die Kanälchen im Prädentin in unterschiedlichem Maße ausfüllen und die Spalträume verschieden groß sind, ist auf geringe Schrumpfungsprozesse trotz Kritischer-Punkt-Trocknung zurückzuführen. Jedoch schließen wir wie Shroff (1954), Frank (1959), Furseth (1971) und Brännström (1972) aus unseren Beobachtungen, daß der Odontoblastenfortsatz den Kanal vollständig ausfüllt und ste-

hen damit im Widerspruch zu Isokawa (1970) und Svejda (1975). Unsere Vermutung wird vor allem dadurch bekräftigt, daß in quergebrochenem Dentin mit erhaltenem Kanalinhalt dieser nahezu das gesamte Lumen ausfüllt; ebenso läßt sich die im Längsbruch den Kanal vollständig ausfüllende Faserstruktur des Odontoblastenfortsatzes in dieser Weise auslegen (siehe unten).

Die den Tomes'schen Fortsatz umgebende Faserstruktur fanden auch Helmcke (1952), Shroff (1956) und Svejda (1975).

Eine Rillung des Odontoblastenfortsatzes wie Svejda (1975) sie feststellte, zeigte sich bei unseren Präparaten nicht. Sie ist vermutlich auf die von ihm angewandte Lufttrocknung und damit verbundene Schrumpfung zurückzuführen, wobei der von uns postulierte faserige Innenaufbau des Fortsatzes sichtbar wird.

Die Auffaserung der Odontoblastenfortsätze an der Prädentin-Dentin-Grenze hat im Bild eine gewisse Ähnlichkeit mit der von Svejda 1979 beschriebenen Verzweigung der Fortsätze beim Eintritt in die Dentinkanälchen. Sie stellt vermutlich ebenfalls ein Artefakt infolge Fixierung, Spaltung der Zähne und geringgradiger Schrumpfung dar. Die Zellmembran mag im Dentin sehr fest über die seitlichen Fasern mit der Matrix des Dentins verbunden sein, sodaß bei der Präparatherstellung die Membran reißt und den fibrillären Odontoblastenfortsatzinhalt dem Blick freigibt.

Hiermit läßt sich auch das Bild der Dentinkanalwand bei fehlender Tomes'schen Faser korrelieren. Bei der membranartigen Struktur dürfte es sich nicht um die glatte Dentinoberfläche, sondern um die zurückgebliebene Zellmembran des Odontoblastenfortsatzes handeln. Da die Membran keinerlei Faserung zeigt, erscheint uns die Vermutung von Provenza (in Toda 1981) als unwahrscheinlich, der sie als aus nicht verkalkten Matrixfasern entstanden ansieht. Letzte Klarheit fehlt jedoch noch wie bei Johansen (1962) und Isokawa (1972), die gleichfalls eine Membran an der Dentinkanalwand ausmachten.

Lester und Boyde (1967) fanden neben dem Dentinkanälchen auch kleine und große laterale Äste. Kubota (1969) schilderte die Kanälchenwand als glatt mit Löchern, welche er als Seitenäste des Odontoblastenfortsatzes interpretierte. Auch Toda (1981), der allerdings das Interglobulardentin untersuchte, fand unter anderem eine Membranstruktur, welche auch in den Seitenästen zu sehen war. Dies konnten auch wir in unseren Präparaten erkennen. Die Vertiefungen in der Wand werden vermutlich von den lateralen Ästen der Odontoblastenfortsätze (Furseth 1971) verursacht.

Die ebenfalls von uns beobachtete grobfaserige Wandstruktur, welche ein wenig an die Prädentinfaserung erinnerte, dürfte durch Verkalkung der Matrixfasern entstanden sein und tritt an Stellen mit fehlender Membran hervor. Dies wird durch Kubota (1969) bekräftigt, welcher in seinen geätzten Präparaten von einer "Faltenstruktur mit gekreuztem Verlauf" an der inneren Kanalwand spricht. Auch Toda (1981) fand im ungeätzten Interglobulardentin Wände mit Fibrillen.

Im Lumen der Kanälchen war im Gegensatz zu Tore (1967) und Byers (1982) keine den Odontoblastenfortsatz begleitende Faser zu beobachten. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß eine mögliche Begleitfaser verdeckt war, besonders an den Stellen, an welchen sich der Odontoblastenfortsatz aufgefasert darstellte und somit eine Differenzierung unmöglich gewesen wäre.

Die von Schroeder (1976) angegebene pseudogeschichtete, mehrreihige Odontoblastenlage wurde nicht gefunden. Vielmehr zeigte sich in Einklang mit Sasaki (1982), daß die Zellen eine einzige, geschlossene Schicht bildeten.

Das einheitliche Zellbild, wie von Isokawa (1970), Kockapan (1981) und Sasaki (1982) beobachtet, konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Die Odontoblastenform reichte, in ein und demselben Präparat, von kugelig über oval nach zylindrisch. Ob dies der Wirklichkeit entspricht oder ob präparatorische Maßnahmen dazu führten, war nicht zu klären. Kockapan (1981) fand zwar kugelige Odontoblasten, allerdings in der Wurzelkanal-Pulpa, wohingegen unsere Studien der Kronenpulpa gewidmet waren.

Eine glatte Odontoblastenoberfläche mit leicht grieseliger Struktur, wie in unseren Präparaten, wurde auch von Svejda (1975) beschrieben. Die von Gotjamanos (1974) (ebenfalls nach Kritischer-Punkt-Trocknung) beobachtete unregelmäßige, kleine Fältelung stellte sich nicht dar. Diese kommt aller Wahrscheinlichkeit nach durch Schrumpfungsprozesse bei der Trocknung zustande.

Gleiches läßt sich für die grieselige Struktur unserer Odontoblasten vermuten, die jedoch bei der Präparatherstellung nicht so stark in Mitleidenschaft gezogen wurden.

Ausnahmslos hatten die Odontoblasten nur einen Fortsatz entsprechend den Beobachtungen von Brännström (1972), Gotjamanos (1974), Schroeder (1976) und Kockapan (1981). Damit stehen wir im Gegensatz zu Svejda (1975), welcher mehrere Tomes'sche Fasern vorfand.

Paul (1898-9) entdeckte an den Odontoblasten eine Halskrause, welche sich teilweise auch bei uns darstellte. Sie befand sich am Übergang der Zellen zu ihrem Fortsatz und scheint das Substrat für die in diesem Bereich festgestellte besonders innige Haftung der Odontoblasten untereinander zu sein. Cotton (1975) spricht von einem ultrastrukturellen Haftapparat, der sich besonders am prädentinalen Ende des Odontoblasten befindet. Kockapan (1981) photographierte die Verkittung der Odontoblasten am distalen Pol, welche entsprechend unseren Untersuchungen und denen von Cotton (1975) besonders deutlich war, wenn die Zellen durch die Präparation etwas auseinander gewichen waren. Furseth (1971) fand, wie wir meist auch, die Odontoblasten in festem Kontakt mit dem Prädentin. Zudem beobachtete er einen "junctional complex" zwischen den Odontoblasten, sowie eine sich intensiver färbende Struktur innerhalb der Zellen, beides nahe dem Prädentin.

Sasaki (1982) wies bei "kitten-odontoblasts" "tight-junctions" vom "macula occludens Typ" nur an deren distalen Ende nach, und Byers (1982) bemerkte zahlreiche "gap junctions" und "Desmosomen" zwischen den Odontoblasten, besonders am Übergang zum Prädentin.
Eine richtiggehende pulpodentinale Membran, welche sich unabhängig von anderen Strukturen darstellte (vgl. Kölliker 1852), konnten wir jedoch nicht ausfindig machen. Somit verdichtet sich die Vermutung mehr und mehr, daß diese pulpodentinale Membran aus festen Interzellularkontakten bzw. einem Haftapparat zwischen Odontoblasten und Prädentin besteht.

Die von Isokawa (1970) und Kothe (1973) an der Prädentinoberfläche entdeckte Wabenstruktur konnten wir auch an den an der Pulpa haften gebliebenen Odontoblasten wiederfinden.
Durch die am Übergang zum Zellkörper abgerissenen Fortsätze entstand der Eindruck eines Netzes mit sechseckiger Grundstruktur. Dieses schien aus Teilen der Zellmembranen zu bestehen, welche im Bereich der distalen Interzellularkontakte scheinbar eine besondere Festigkeit haben und mittels Zellverbindungen zusammenhielten.
Vorstehender Befund deckt sich mit den Ergebnissen von Bradford (1950). Ihm gelang es, nach Kölliker 1852, scheinbar als einzigem eine Membran vom Prädentin zu lösen und einzeln darzustellen. Hierbei war deutlich die bienenwabenförmige Grundstruktur zu erkennen.
Unsere Vermutung, daß die pulpodentinale Membran auch aus Teilen der Odontoblastenmembranen besteht, könnte in Einklang mit dem lichtmikroskopischen Bild zu bringen sein, daß sie laut Kölliker (1852) mit der Neumann-

schen Scheide zusammenhängt bzw. an der Wand der Dentinkanälchen anhaftet (Bradford 1950).

Die in einigen Präparaten an der Wand des Pulpenkavums entdeckte membranartige Struktur konnte nicht hinreichend abgeklärt werden, zumal sie sich nicht immer darstellte und sich aus dem Literaturstudium kein Hinweis auf deren Existenz ergab. Diese Membran kann jedoch fast sicher als nicht identisch mit der in vorangegangenen Arbeiten beschriebenen pulpodentinalen Membran bezeichnet werden.
Wir schließen dies aus mehreren Faktoren. Immer wieder zeigte es sich, daß sich prädentinwärts dieser Struktur Odontoblasten befanden. Die Membran wies zwar eine gewisse Löcherung auf, aber auch über größere Strecken sogenannte "lochfreie Zonen". Letzteres könnte zwar mit den kanälchenfreien Zonen nach Kockapan (1981) gleichgesetzt werden. Es zeigte sich jedoch, daß in beiden Bezirken Löcher existieren, die mehr oder weniger von der gleichen membranartigen Struktur bedeckt waren wie die Umgebung. Diese "Deckel" erweckten durch ihre ausgefransten Ränder den Eindruck, als seien sie durch Zug bei leichten Schrumpfungsprozessen aus der Gesamtfläche ausgerissen, da sie mehr dezentral saßen und noch Verbindung mit dem Rand aufwiesen. Es wäre für die Odontoblastenfortsätze nicht möglich an diesen Stellen in das Prädentin vorzudringen.
Des weiteren zeigte sich über größere Bezirke, daß diese geschlossene Oberfläche untereinander verbundene Risse aufweist; die so gebildeten Schollen entstanden vermutlich durch präparatorisch bedingte Schrumpfung, in deren Folge die geschlossene Schicht dort, ebenso wie in den gelöcherten Bezirken, einriß.

Während immer wieder prädentinwärts dieser Membran Odontoblasten nachzuweisen waren, zeigte sich oberhalb derselben nirgends auch nur ein einziger, hingegen dickere Fasern und Zellen, welche Fibroblasten ähnelten.
Folgende Interpretationen wären möglich: Es könnte sich um ein präparatorisches Artefakt ohne natürliches Substrat handeln, wobei dann zu überlegen ist, wodurch diese Struktur zustande kam.
Zum andern wäre eine selbstständige Membran denkbar, welche möglicherweise der Weil'schen Zone zuzurechnen wäre und eventuell Abgrenzungs- bzw. Kommunikationsfunktionen zwischen Pulpa und Odontoblasten zu tragen hat.

Denkbar scheint auch, daß es sich hierbei um die pulpawärts gerichteten Zellwände der Odontoblasten handelt. Die Löcher könnten dann als im proximalen Teil durch Schrumpfung verbreiterte Interzellularspalten und die Substanz, welche die Löcher teilweise bedeckt, als Teil der Zellkontakte interpretiert werden.
Dafür spräche die Lage der Membran, der Einriß derselben, sowie ihre grieselige, ebene Struktur, welche mit der beobachteten Oberfläche der Odontoblasten übereinstimmt.
Fraglich scheint diese Theorie jedoch bei Betrachtung folgender Einzelheiten: In lochfreien Gebieten weist diese Schicht eine dichte Struktur, ohne die Andeutung von Interzellularkontakten auf; auch ist das Auftreten von größeren Löchern nur schwer in Einklang mit diesem Modell zu bringen. Weitere Untersuchung und Diskussion ist nötig, um dieses Ergebnis einer Klärung bzw. Interpretation zuzuführen.

Zusammenfassung

Das Prädentin besteht aus einem Fasergeflecht mit vorwiegend oberflächenparalleler Ausrichtung.
Die Oberfläche ist eben und zeigt in geringfügig unregelmäßigen Abständen Kanälchenöffnungen.
Mit scharfer Grenze geht das Prädentin in das Dentin über.
Von Korff'sche Fasern kommen aus der subodontoblastischen Schicht und strahlen, sich auffasernd, in das Prädentin ein.
Die Odontoblasten haben unterschiedliche Form und bilden eine einschichtige, geschlossene Zellage. Sie gehen konusartig in den Fortsatz über. An dieser Stelle sind sie über feste Interzellularkontakte miteinander verbunden und haben bienenwabenförmigen Querschnitt.
Eine richtiggehende, von den übrigen Strukturen unabhängige pulpodentinale Membran konnte nicht nachgewiesen werden.
Die Oberflächen von Odontoblasten-Körper und Fortsatz sind leicht grieselig.
Im Querschnitt zeigt sich die Tomes'sche Faser fibrillär, granulär. Sie ist über Fasern mit der Kanalwand verbunden. Im Dentin füllt sie den Kanal nahezu vollständig aus.
Unmittelbar polpawärts der Odontoblasten imponierte eine membranartige Struktur ungeklärter Genese, welche von einem feinen Fasernetz belegt ist.

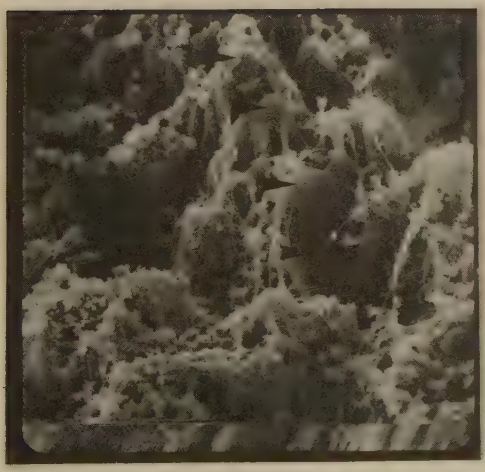
Abb. 1:

Arkadenförmige Faserstruktur
des Prädentins.
Arkaden ►
dazwischen Kanälcheneingänge

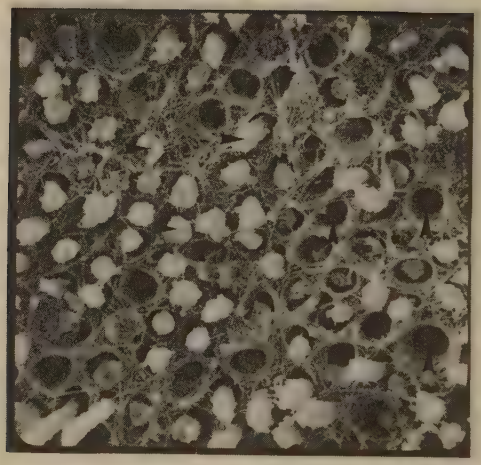
Abb.: 2:

Arkaden ► aus Kollagen-
fasern des Prädentins.
Bildmitte ► ◄
sog. von Korff'sche Faser

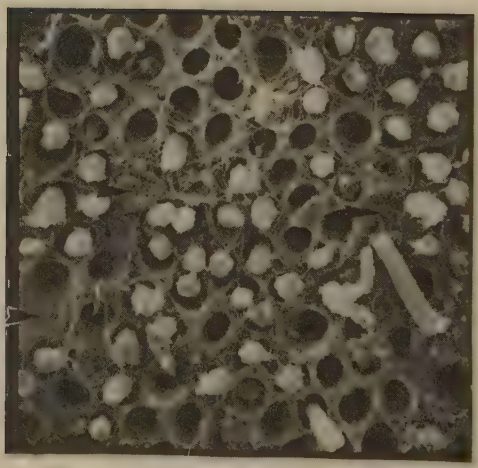
200 µ



40 µ



20 μ



20 μ

Abb. 3:

Ebene Prädentinoberfläche mit regelmäßiger Kanälchenverteilung und abgerissenen Odontoblastenfortsätzen ➤
Kanälcheneingang ▲

Abb. 4:

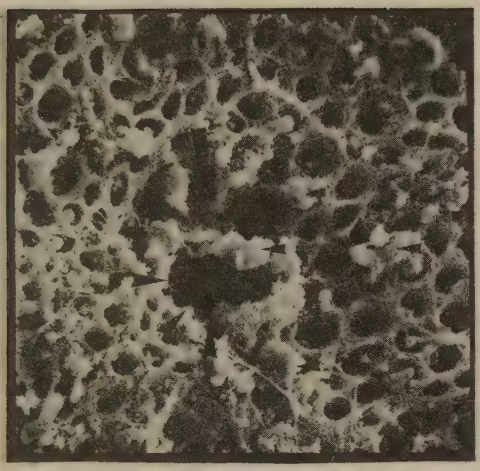
Kanälchenfreie Bezirke ➤
in der Prädentinoberfläche

Abb. 5:

Größeres Loch ►▲▼
in der Prädentinoberfläche
mit Odontoblasten ◄

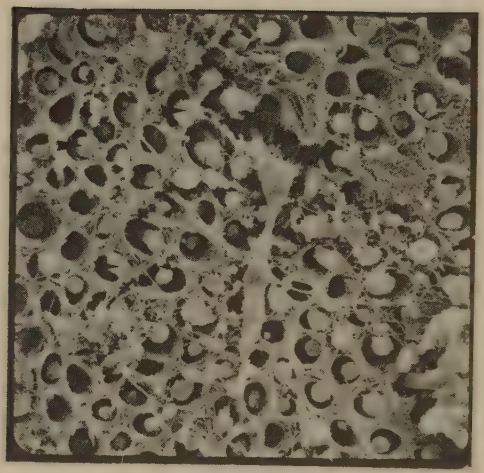
Abb. 6:

Größeres Loch in der Prädentin-
oberfläche mit ausgefranstem,
unregelmäßigem Rand ►▼▲

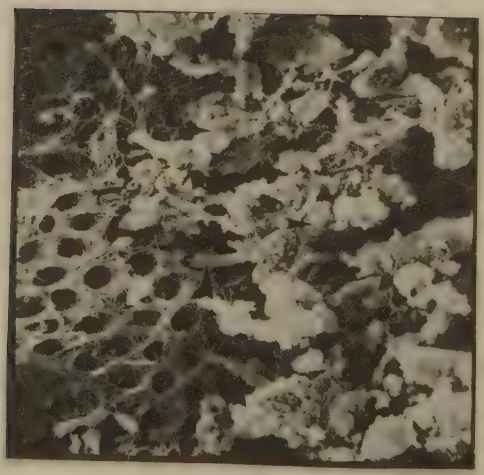


20 μ

20 μ



20 μ



20 μ

Abb. 7:

Prädentinoberfläche mit abgegerissenen Odontoblastenfortsätzen ►
in den Kanälchen;
deutlicher Faserverlauf.

Abb. 8:

Rechts: Odontoblasten ►
welche noch am Prädentin haften
und teilweise in die Kanälchen
einen Fortsatz abgeben ▲

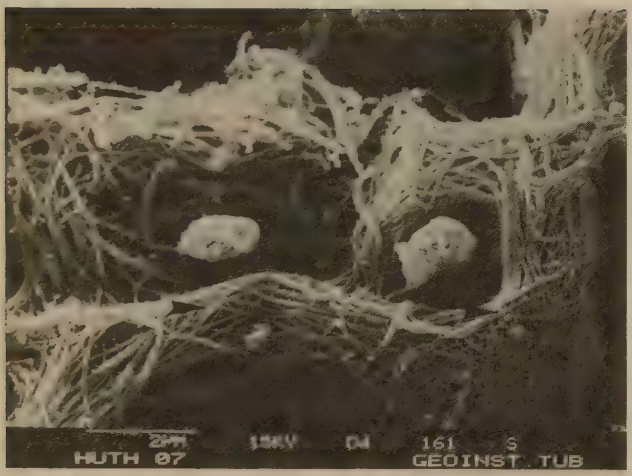
Links: deutliche Prädentinfaserstruktur

Abb. 9:

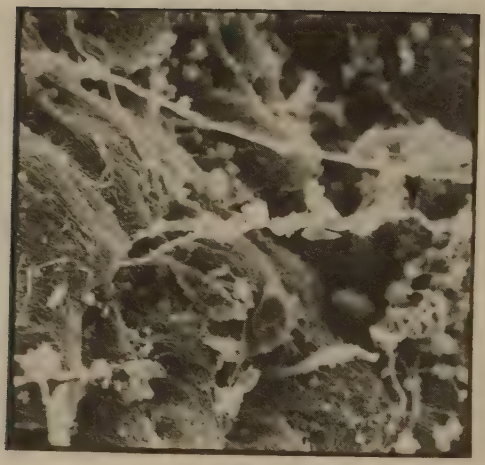
Kollagenfaserung des Prädentins
mit Faseranheftungsstellen ►
zwei ovale Gebilde unklarer Herkunft.

Abb. 10:

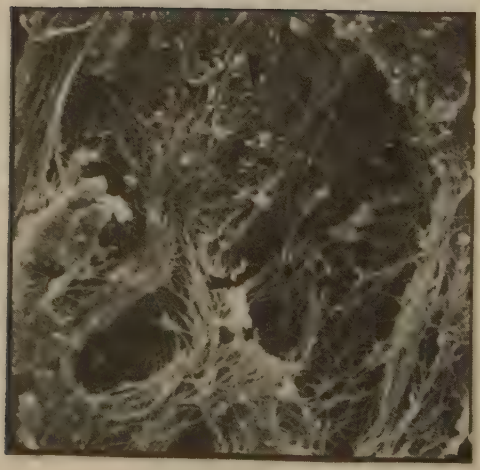
Von Korff'sche Fasern ►
zwischen Odontoblasten ▲
Auffaserung in die Faserstruktur
des Prädentins ► ◄



20 µ



20 µ



10 µ

Abb. 11:

Angedeuteter schraubenartiger Verlauf der sog. Korff'schen Fasern ▼
pulpawärts des Prädentins.

Abb. 12:

Typische von Korff'sche Faser ►
mit korkenzieherartigem Verlauf,
jedoch abgerissen und disloziert.

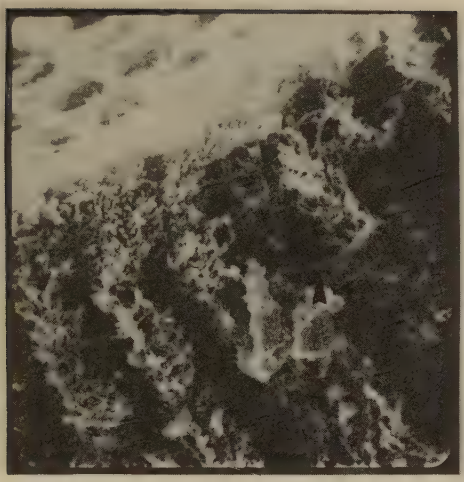
Mineralisationsfront ▼

Abb. 13:

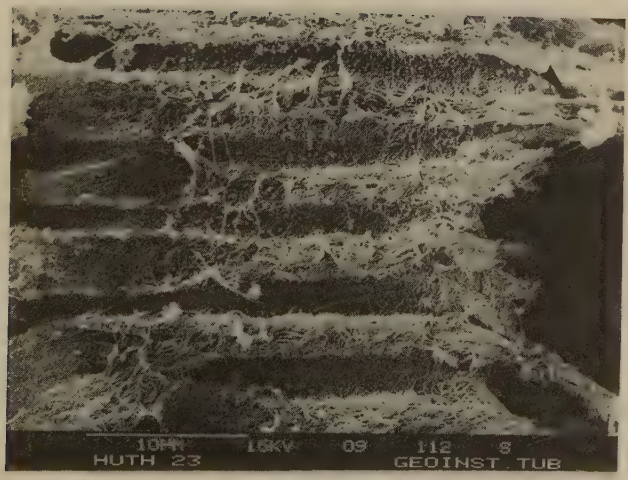
Typische korkenzieherartige von Korff'sche Faser ➤ in Prädentinkanälchen dis-loziert.

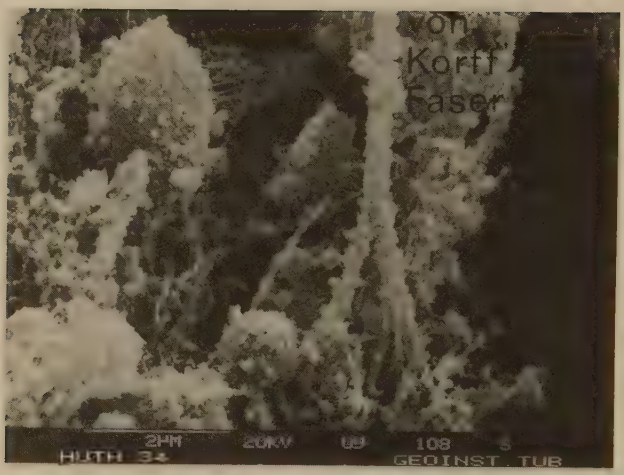
Abb. 14:

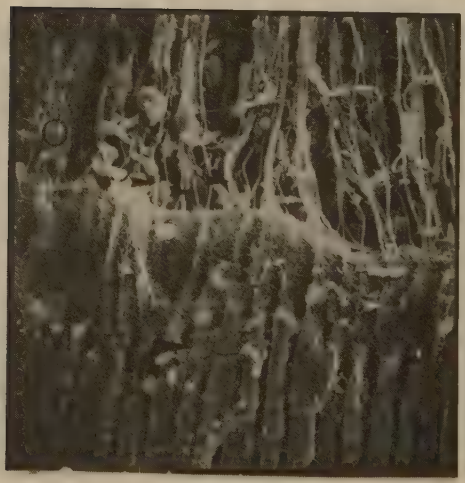
Prädentinfaserung im Längs-schnitt mit einstrahlenden von Korff'schen Fasern ➤



10 µ







30 µ

Abb. 15:

Auffaserung einer von Korff'schen Faser in das Prädentin.

Abb. 16:

Übergang von Dentin (D) zum Prädentin (PD) und zur Odontoblastenschicht (Od);
ins Prädentin einstrahlende sog. von Korff'sche Fasern ►

Mineralisationsfront (Min ►)

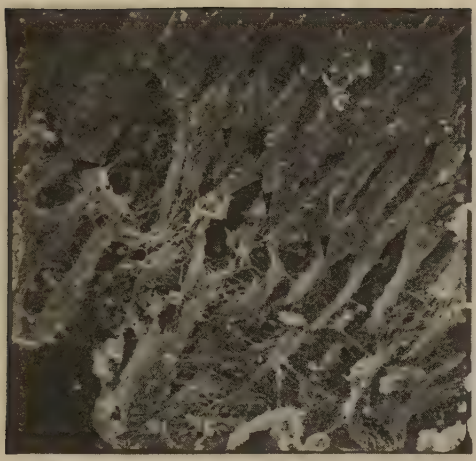
Abb. 17:

Mineralisationsfront ▼
scharfer Übergang der unverkalkten Prädentinfaserung ins Dentin.

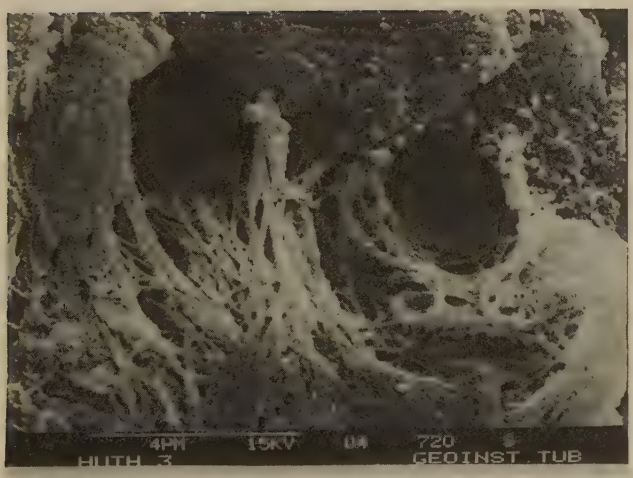
Links oben: typische von Korff'sche Fasern ► ◄

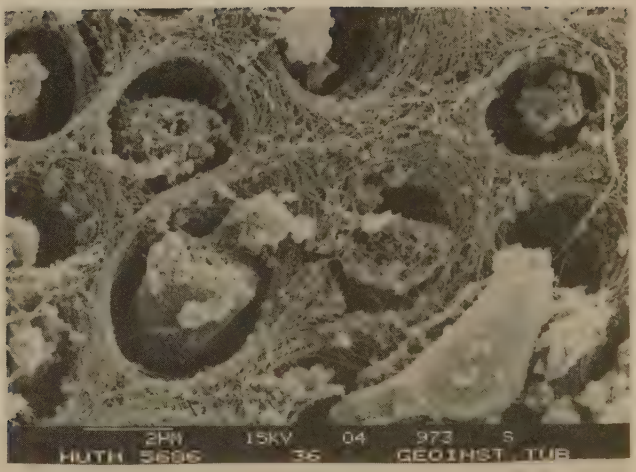
Abb. 18:

Mineralisationsfront mit Mineralisationskügelchen ►



20 µ




2PM 15KV 04 973 S
HUTH 5686 36 GEOIHST TUB

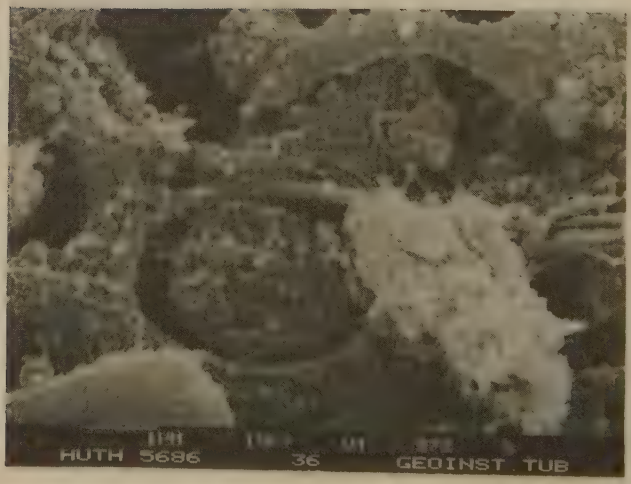

HUTH 5686 36 GEOINST TUB

Abb. 19:

Quer gerissene Odontoblastenfortsätze mit granulär fibrillärem Inhalt;
Anheftung des Fortsatzes an der Kanalwand ►
Verlauf der Prädentinfaserung.

Abb. 20:

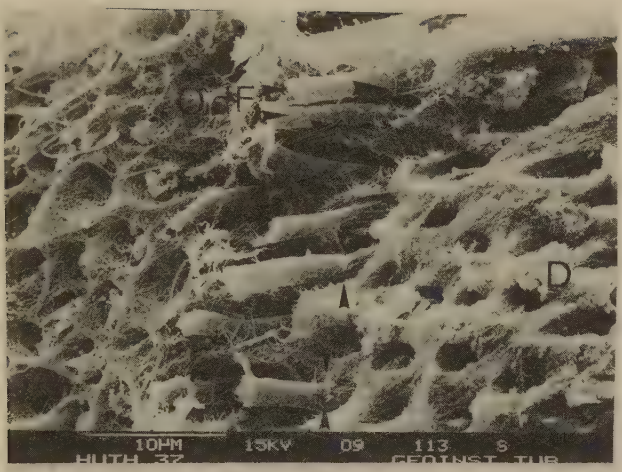
Granulär fibrillärer Inhalt eines quer getroffenen Odontoblastenfortsatzes an der Prädentinoberfläche.

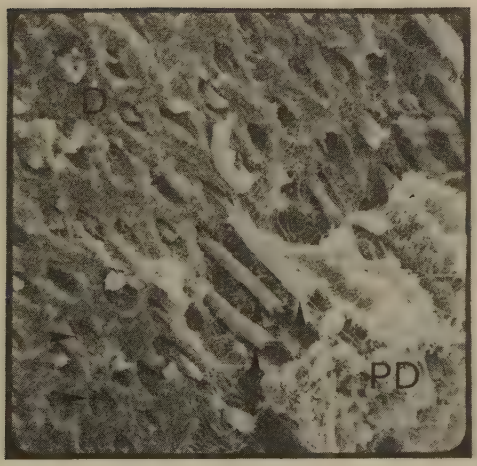
Abb. 21:

Körnige Oberfläche des Odontoblastenfortsatzes (OdF);
Auffaserung desselben ► ◄
am Übergang zum Dentin (D);
Faseranheftung des Fortsatzes
an der Kanalwand ►

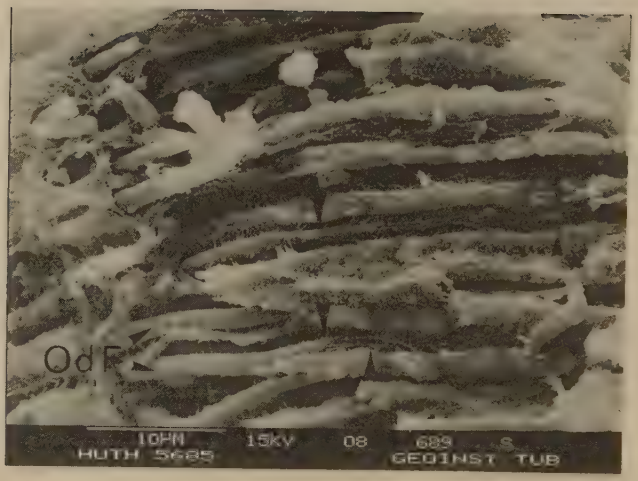
Abb. 22:

Schrägbruch an der Grenze zwischen
Dentin (D) und Prädentin (PD);
Odontoblastenfortsätze ▲
in den Kanälchen;
am linken Bildrand füllen sie deutlich den Dentinkanal aus ►





20 μ


OdF
10PM 15KV 08 689 S
HUTH 5685 GEOINST TUB

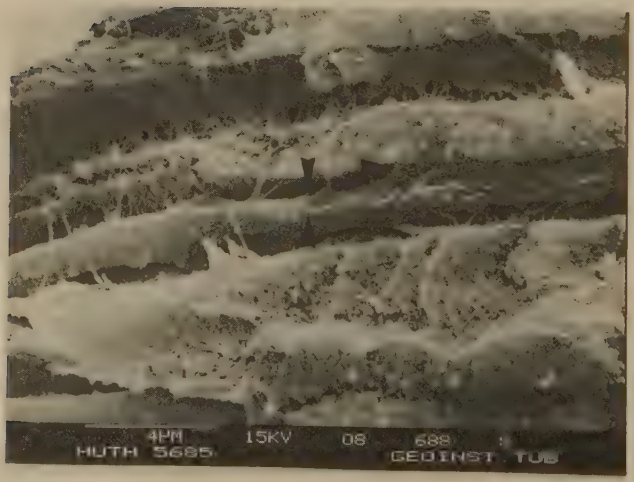

4PM 15KV 08 688 S
HUTH 5685 GEOINST TUB

Abb. 23:

Dentin/Prädentin-Längsbruch:
Auffaserung der Odontoblastenfortsätze (OdF) an der Mineralisationsfront ▼
der faserige Odontoblastenfortsatz füllt den gesamten Dentinkanal aus ►◄

Abb. 24:

Auffaserung des soliden Odontoblastenfortsatzes am Übergang vom Prädentin zum Dentin ►◄
Laterale Anheftung ►
desselben an der Kanalwand.

Abb. 25:

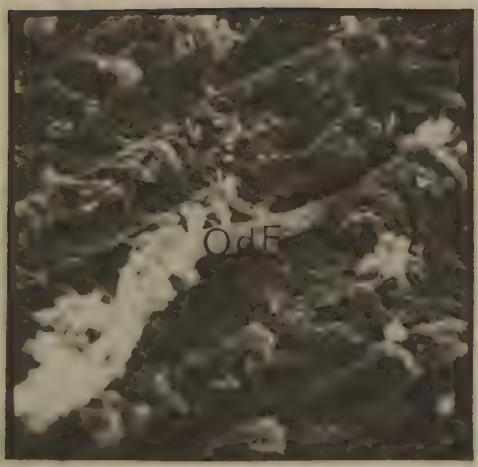
Membranartige Struktur ▲
an der Wand der Dentinkanälchen
mit Einbuchtungen ►
für die lateralen Ausläufer der
Odontoblastenfortsätze.

Abb. 26:

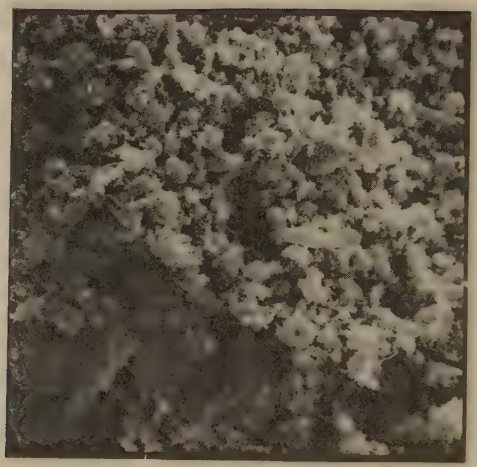
Grobe, an die Faserung im Prädentin erinnernde Wandbeschaffenheit ►
der Dentinkanälchen;

Odontoblastenfortsatz (OdF).

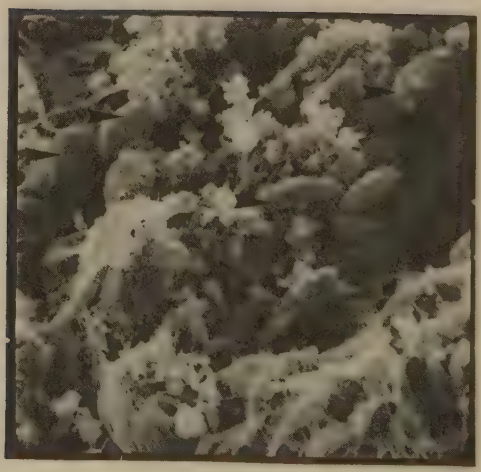
20 µ



5 µ



30 μ



20 μ

Abb. 27:

Vielgestaltige Form der
Odontoblasten ►

Abb. 28:

Ovale und säulenförmige
Odontoblasten ►

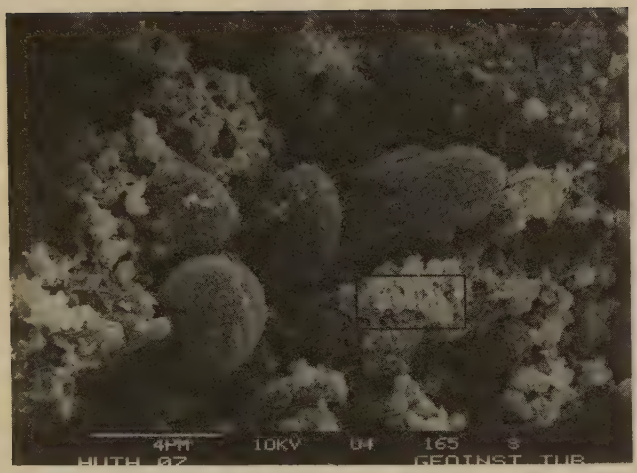
Abb. 29:

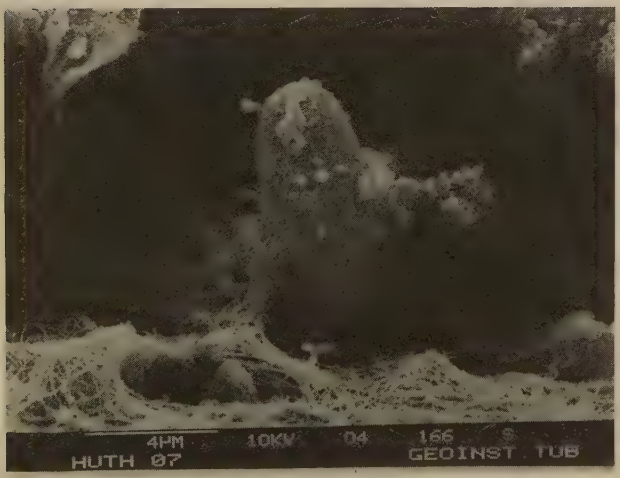
Grieselige Oberfläche mehrerer Odontoblasten ► dazwischen vesikelähnliche Gebilde □

Rechts oben: geplatzter Odontoblast ▼▼

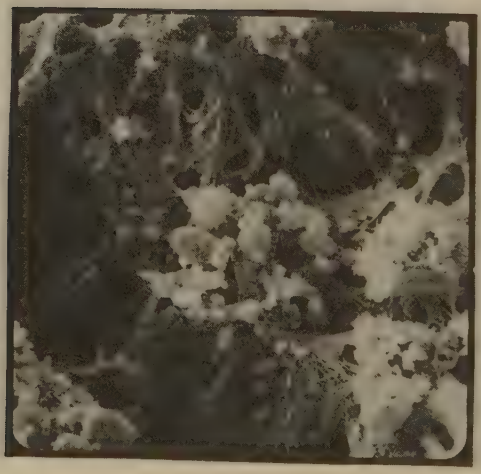
Abb. 30:

Einzelner Odontoblast mit grieseliger Oberfläche auf dem Prädentin.


4PM 10KV 04 165 S
HUTH 07 GEOINST TUB


4PM 10KV 04 166 S
HUTH 07 GEOINST TUB

20 μ



20 μ

Abb. 31:

Einzelner Odontoblast mit
Fortsatz ►
und Halskrause ▲ ▲

Abb. 32:

Mehrere Odontoblasten an der
Prädentinoberfläche, über eine
Halskrause untereinander ver-
bunden ▲

Abb. 33:

Odontoblasten vom Prädentin aus gesehen:

Links im Bild sind die Fortsätze (OdF) dicht am Zellkörper abgerissen, rechts weiter peripher.

Linker Bildteil: bienenwabenförmiger Zellquerschnitt ►

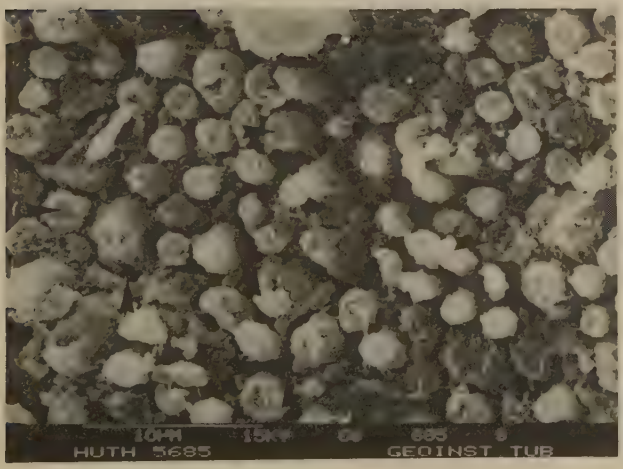
Abb. 34:

Vergrößerung aus Abb. 33

Am Zellkörper abgerissene Fortsätze mit granulär fibrillärem Inhalt ►

Erweiterte Interzellularkontakte ▲

20µM 15KV 08 684 S
HUTH 5685 GEOINST TUB


10µM 15KV 08 685 S
HUTH 5685 GEOINST TUB

HUTH 5685
4μM
15KV
08
685
8
GEOINST.TUB

HUTH 5685
4μM
15KV
08
687
8
GEOINST.TUB

Abb. 35:

Vergrößerung aus Abb. 33

Quer gerissene Odontoblasten-
fortsätze mit granulär fibrillä-
rem Inhalt ►

Von Korff'sche Fasern ► ◄
zwischen den Zellen.

Abb. 36:

Vergrößerung aus Abb. 33

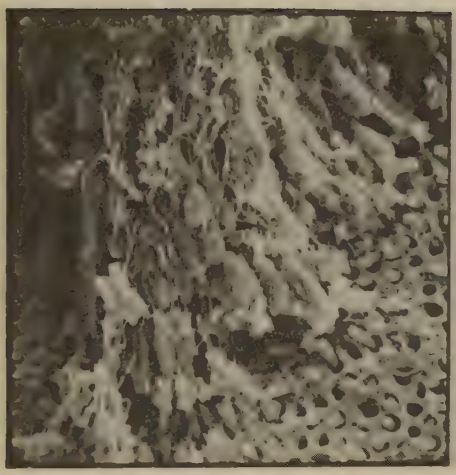
Von Korff'sche Fasern ►
zwischen den Odontoblasten.

Abb. 37:

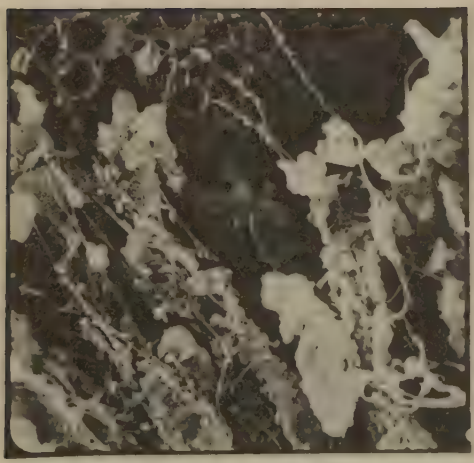
Dickere Fasern ➤
zwischen den vom Prädentin gelösten Odontoblasten.

Abb. 38:

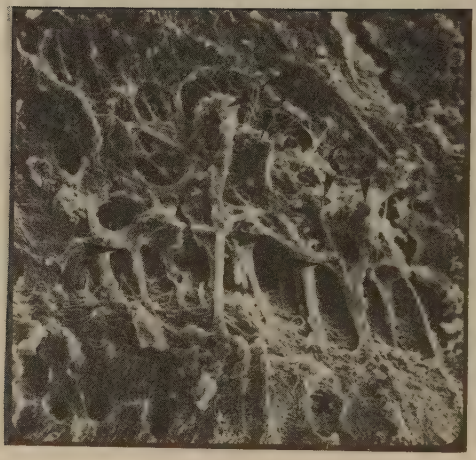
Sog. von Korff'sche Fasern ➤
zwischen den Odontoblasten.



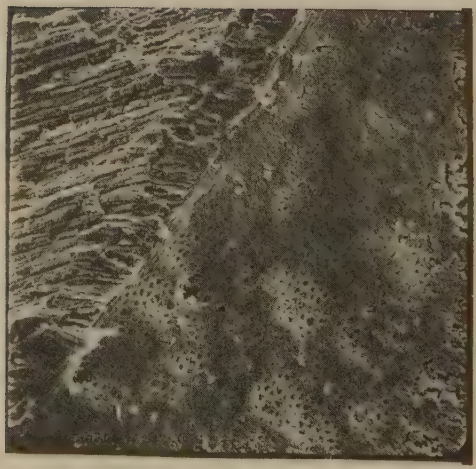
30 μ



20 μ



20 μ



100 μ

Abb. 39:

Schlußleistennetz ➤
zwischen den durch Schrumpfung
etwas auseinander gewichenen
Odontoblasten (Od).

Abb. 40:

Membranartige, teils gelöcherte,
teils gerissene Struktur pulpa-
wärts der Odontoblastenschicht.

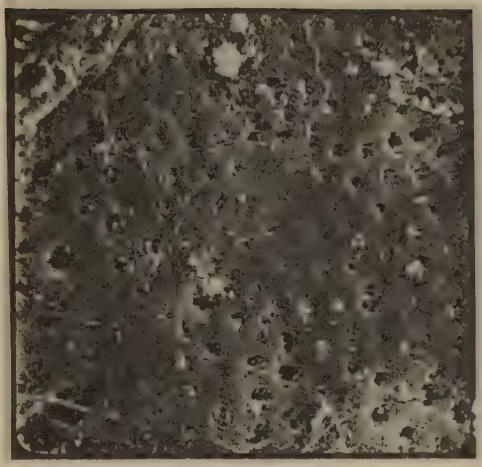
Abb. 41:

Vergrößerung aus Abb. 40

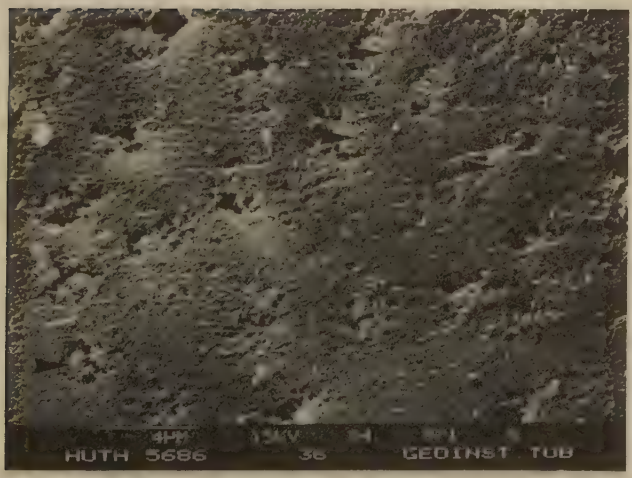
Abb. 42:

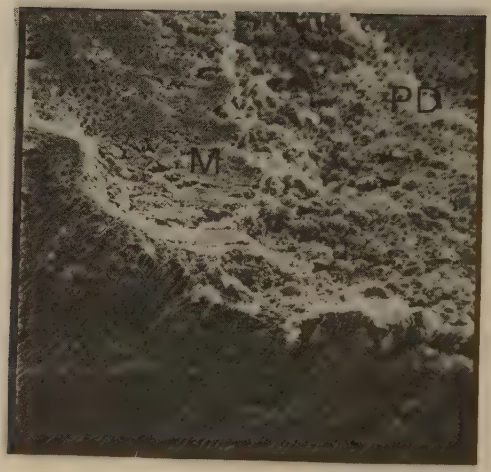
Deckelartiger Verschluß der Löcher ►

Feines Fasernetz auf der membranartigen Struktur.

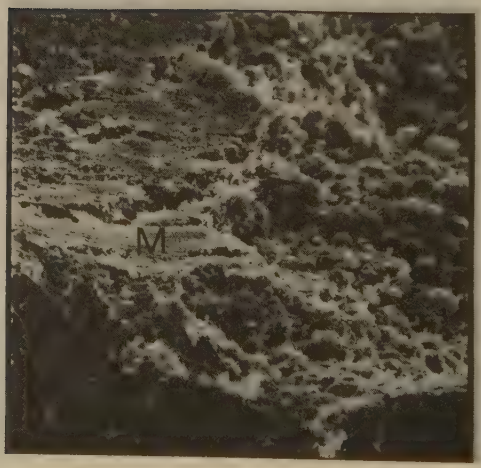


20 µ





100 µ



40 µ

Abb. 43:

Odontoblasten ►
auf dem Prädentin (PD); darüber
membranartige Struktur (M).

Dentin (D).

Abb. 44:

Vergrößerung aus Abb. 43

Odontoblasten ►

Membranartige Struktur (M).

Literaturverzeichnis

Awazawa,Y.: Electronmikroscopic investigation of the dentin with particular regard to the nature of the area surrounding the odontoblast process
J. Nihon. Univ. Sch. Dent. 5, 31 - 54 (1962)

Boyde and Wood: Preparation of animal tissues for surface scanning electron microscopy
J. Microscopy 90, 221-249 (1969)

Boyde,A. and K. S. Lester: An electron microscope study of fractured dentinal surfaces
Calc. Tiss. Res. 1, 122-136 (1967)

Bradford,E.W.: An investigation into the structure of the pulpo-dentinal junction
British Dental Journal 83, 55-58 (1950)

Brännström,M. and R. Garberoglio: The dentinal tubules and the odontoblast process
A scanning electron microscopic study
Acta. Odont. Scand. 30, 291-311 (1972)

Byers,M.R., S.J. Neuhaus and J.D. Gehrig:
Dental sensory receptor structure in human teeth
Pain 13, 221-235 (1982)

Cotton,W.R.: Dental pulp histology observed by scanning electron microscopy
Oral Surg. 39, 136-140 (1975)

Frank,R.M.: Electron microscopy of undecalcified sections of human adult dentine
Arch. oral Biol. 1, 29-32 (1959)

Furseth,R.: The fine structure of the odontoblast/predentine area in the root
Scand. J. dent. Res. 39, 141-150 (1971)

Gotjamanos,T.: Cellular organisation in the sub-odontoblastic zone of the dental pulp
Arch. oral Biol. 14, 1007-1010 (1969)

Gotjamanos,T. and D. Swedlow: Scanning electron microscopy of human dental pulp cells
Int. Ass. dent. Res. Abstracts, P.184 (1973)

Gotjamanos,T. and D. Swedlow: Scanning electron microscopy of human dental pulp
Arch. oral Biol. 19, 549-552 (1974)

Hayat,M.: Principles and techniques of electron microscopy
Biological Applications Vol.I
Van Nostrand Reinhold Company, New York 1974

Hayat,M.: Introduction to biological scanning electron microscopy
University Park Press, Baltimore 1978

Helmcke,J.G. und B. Jahn: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über das Dentin im menschlichen Zahn
Die Naturwissenschaften 39, 492-493 (1952)

Hollenberg,M.J. and A.M. Erickson: The scanning electron mikroscope: pontential usefulness to biologists.
J. Histochem. Cytochem. 21, 109-130 (1973)

Isokawa,S., Y.Toda, N.Kodama and Y.Inoue: Scanning electron microscope of human odontoblasts and predentin
J. Nihon. Univ. Sch. dent. 12, 54-56 (1970)

Isokawa,S., Y.Toda and K.Kubota: A scanning electron microscopic observation of etched human peritubular dentine
Arch. oral Biol. 15, 1303-1306 (1970)

Isokawa,S., S.Uchino, K.Morimoto, Y.Kobayashi and S.Hasegawa:
On the so-called von Korff fibers as seen on the human predentinal surface
J. Nihon. Univ. Sch. dent. 54, 12-16 (1970)

Isokawa,S., M.Yoshida, A.Komuro and Y.Iwatake:
A preliminary study on the peritubular structure of human dentinal tubules by scanning electron microscopy
J. Nihon. Univ. Sch. dent. 14, 122-125 (1972)

Johansen,E. and H.F.Parks: Electron-microscopic
observations on sound human dentine
Arch. oral Biol. 7, 185-193 (1962)

Kockapan,C.: Rasterelektronenmikrospische Untersuchungen
über die Struktur der Pulpaoberfläche und der pul-
podentinalen Grenze
Dtsch. zahnärztl. Zeitschr. 36, 529-533 (1981)

Kölliker,A.: Handbuch der Gewebelehre des Menschen
1. Aufl. Leipzig. Engelmann (1852)

Köling,A., H.Rask-Andersen und D.Bagger-Sjöbäck:
Membrane junctions on odontoblasts
A freeze-fracture study
Acta. Odont. Scand. 39, 355-360 (1981)

Kothe,J. und H.Johansen: Rasterelektronenmikroskopische
Untersuchungen des Wurzelkanalwanddentins
dt. ZMK 61, 100-108 (1973)

Kubota,K., M.Ajisaka, Y.Inoue, S.Yamaguchi and I.Hasegawa:
Scanning electron microskopic observation of
longitudinally sectioned dentinal tubules
J. Nihon. Univ. Sch. dent. 11, 140-143 (1969)

Kubota,K., M.Sekikawa, M.Shimamura and T.Nakajima:
A scanning electron microscope consideration
of the structure of peritubular dentin
J. Nihon. Univ. Sch. dent. 20, 1 - 5 (1978)

Lester,K.S. and A.Boyde: Electron microscopy of predentinal surfaces
Calc. Tiss. Res. 1, 44-54 (1967)

Menaker,L.: The biologic basis of dental caries
An oral biology textbook
Harper & Row, Hagerstown 1980

Newbrun,E.: Cariology
Williams & Wilkins, Baltimore 1983

Paul,F.T.: Trans.odont.Soc. G.B., 31, 121 (1898-9)

Reimer,L.: Rasterelektronenmikroskopie
Springer Verlag, Berlin 1973

Rosenbauer,K.A.: Rasterelektronenmikroskopische Technik
Thieme Verlag, Stuttgart 1978

Sasaki,T., K.Nakagawa and S.Higashi: Ultrastructure of odontoblasts in kitten tooth germs as revealed by freeze-fracture
Arch. oral Biol. 27, 897-904 (1982)

Shroff,F.R., K.I.Williamson and W.S.Bertaud: Electron microscope studies of dentine
Oral Surg. 7, 662-670 (1954)

Shroff,F.R., K.I.Williamson, W.S.Bertaud and D.M.Hall: Further electron microscope studies of dentine
Oral Surg. 9, 432-443 (1956)

Schroeder,H.E.: Orale Strukturbiologie
Thieme Verlag, Stuttgart 1976

Silverstone: Dental caries, aetiology, pathology and prevention
Verry Publication, Mystic, CT 1981

Svejda,J.: Über die Struktur der pulpodentinalen Grenze im Rasterelektronenmikroskop
dt. ZMK Band 63, 1-13 (1975)

Svejda,J. und O.Brazda: Die Pulpa der menschlichen Zähne im Rasterelektronenmikroskop
dt. ZMK Band 67, 115-128 (1979)

Thomas,H.F.: The effect of various fixatives on the extent of the odontoblast process in human predentine
Arch. oral Biol. 28, 465-469 (1983)

Toda,Y., M.Kageyama, S.Nagai, S.Miyazaki, H.Takagi, H.Sugisawa and S.Takehana:
Scanning elektron microscopic observations of dentinal tubules in interglobular dentin
J. Nihon. Univ. Sch. dent. 23(2), 71-78 (1981)

Tore,A.: Studies on the ultrastructure of dentinal tissue
II The predentine-pulpal border zone
Odont. Rev. 18, 191-208 (1967)

Wilton-Cox,H. and P.Cleaton-Jones: Soft-tissue specimen shrinkage during the preparation for scanning electon microskopy
J. dental. Assoc. South. Afr. 32, 141-145 (1977)

Mein Dank gilt

Herrn Professor Dr. Dr. P. Riethe
für die Überlassung des Themas, die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit und die rasche Korrektur des Manuskripts,

Herrn Dr. W.U. Berthold
für seine Hilfe und die Überlassung der Kritischen-Punkt-Trocknungsanlage seiner Abteilung für Zellbiologie,

Den Laborangestellten der Zahnklinik
für die zur Verfügung gestellten Gerätschaften und nützliche Arbeitshilfen,

Herrn Hüttemann,
der mir am Rasterelektronenmikroskop des Geologischen Instituts Tübingen mit Rat und Rat zur Seite stand

sowie

Frau Knogler,
die mir bei der Bedienung des Burroughs Redactron II behilflich war.

Lebenslauf

Guido Huth

Als Sohn meiner Eltern Sophie und Walter Huth wurde ich am 25. 8. 1958 in Krumbach (Schwaben) geboren.

Zwei Jahre vor meiner Einschulung im Herbst 1964 fand ich Aufnahme im städtischen Kindergarten meines Heimatortes. Vier Jahre später legte ich die Aufnahmeprüfung für das Simpert-Kraemer-Gymnasium Krumbach ab, wo ich am 24. Juni 1977 die allgemeine Hochschulreife erlangte.

Zum Wintersemester 1977/78 erhielt ich einen Studienplatz für Zahnmedizin an der Universität zu Köln.

Im Sommersemester 1978 wechselte ich nach Tübingen. Hier legte ich am 3. 10. 1978 die naturwissenschaftliche Vorprüfung für Zahnmediziner, am 9. 10. 1980 die zahnärztliche Vorprüfung und am 6. 6. 1983 die zahnärztliche Prüfung ab.

Offsetdruck Spengler
Lessingstraße 4 · 7401 Neustetten 1
Telefon (0 74 72) 2 21 45